

Márcia Cristina Pereira  
Tavares

Hélder José Perdigão  
Gonçalves

Jorge Novais Telles de  
Faria Corrêa Bastos

# *d*

## DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS EM CLIMA TEMPERADO

140

pós-

### RESUMO

O presente estudo procura interligar aspectos da Arquitetura e da Térmica dos Edifícios visando contribuir para a prática de projeto disponibilizando um conjunto de informações relacionadas com as questões de conforto e consumo de energia, obtidas a partir de um processo metodológico fundamentado numa componente experimental (medições *in loco* de Verão e Inverno, sobretudo em unidades de edifícios residenciais em Lisboa com áreas de envidraçados superiores a 60% da fachada principal) e numa componente numérica (simulações térmicas recorrendo ao programa dinâmico *EnergyPlus*, num processo que envolveu modelação e calibração de modelos geométricos representativos de tipologias frequentes); o que permitiu a observação de diferentes parâmetros com possibilidade de comparar o desempenho entre um espectro alargado de soluções correntes (Matriz de soluções) sob um clima tipicamente mediterrâneo como o da cidade de Lisboa. Desta forma, sendo assim apresentado um conjunto de resultados que comprovam a possibilidade de se projetar e construir edifícios residenciais com diferentes áreas de envidraçados, principalmente com grandes proporções, em Clima Temperado.

### PALAVRAS-CHAVE

Conforto térmico. Térmica dos edifícios. Desempenho térmico e energético. Sistemas solares passivos. Áreas de envidraçados. Edifícios residenciais.

## DESEMPEÑO TERMO- ENERGÉTICO DE EDIFICIOS RESIDENCIALES EN CLIMA TEMPLADO

## THERMOENERGETIC PERFORMANCE OF RESIDENTIAL BUILDINGS IN TEMPERATE CLIMATE

### RESUMEN

Este estudio trata de vincular los aspectos de la Arquitectura y la Térmica de los edificios para contribuir a la práctica de diseño que proporcionan un conjunto de información relacionada a las cuestiones de comodidad y el consumo de energía. Obtenido en un proceso metodológico basado en un componente experimental (realización de monitoreo de verano e invierno en edificios residenciales en Lisboa con superficie acristalada superior al 60% de la fachada principal) y un componente numérico (simulaciones térmicas que utilizan el programa dinámico *EnergyPlus* en un proceso que involucró la modelación y calibración de modelos geométricos representativos de tipologías frecuentes). Esto permitió la observación de diferentes parámetros con la posibilidad de comparar el rendimiento en un amplio espectro de soluciones actuales (soluciones Matriz) bajo un clima típicamente mediterráneo, como el de la ciudad de Lisboa. De esta manera, se presenta un conjunto de resultados que demuestran la capacidad de diseñar y construir edificios de viviendas con diferentes áreas de vidrio, especialmente de grandes proporciones, en Clima Templado.

### PALABRAS CLAVE

Confort térmico. Térmica de edificios. Desempeño térmico y energético. Sistemas solares pasivos. Áreas de acristalados. Edificios residenciales.

### ABSTRACT

This study sought to link architectural and thermal aspects of buildings to contribute to the design practice by providing an information set related to issues of comfort and energy consumption, obtained through a methodological process involving an experimental component (involving summer and winter monitoring in residential buildings in Lisbon where over 60% of the main façade is glazed) and a numerical component (thermal simulations with the use of the *EnergyPlus* dynamic program, with modeling and calibration of representative geometric models of frequent typologies). This, therefore, allowed the observation of different parameters, enabling the establishment of performance comparisons between a broad spectrum of solutions (Matrix of current solutions) under a typical Mediterranean climate like that of the city of Lisbon. Thus, this study presents a set of results that demonstrates the potential for designing and constructing buildings with different (in particular large) areas of glazing in temperate climates.

### KEYWORDS

Thermal comfort. Thermal buildings. Thermal and energy performance. Passive solar systems. Glazing areas. Residential buildings.

## I. INTRODUÇÃO

Os edifícios correspondem a um setor de relativa importância econômica em Portugal. Estes representam cerca de 30% do consumo de energia final do País, e são responsáveis por cerca de 55% do consumo elétrico, (17% residencial e 36% serviços); colocando este setor como o segundo responsável em termos das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Sendo ainda de considerar que Portugal produz apenas uma pequena parcela da energia que consome (aproximadamente 20%), enquanto a média anual dos consumos tende a aumentar à medida que também aumenta a procura por melhores condições de conforto e de qualidade dos edifícios, resultando assim em preocupações econômicas e socioambientais (DGGE, 2012).

Mais especificamente no setor residencial vale destacar a parcela do consumo destinada ao conforto térmico (para aquecimento e resfriamento), representando quase 1/4 (22%) do consumo total de energia de uma habitação (SOUSA *et al.*, 2012). Entretanto, nestas últimas décadas Portugal obrigou-se a tomar medidas para limitar a produção de GEE, sendo de salientar os Decretos-Lei 79-80/2006 (PORTUGAL, 2006) correspondentes aos regulamentos energéticos dos edifícios residenciais e serviços, os quais visavam atender o aumento das exigências para os edifícios nos países da União Europeia (EU), em média, de 25% em relação aos níveis anteriores à Diretiva n.º 2002/91/CE (Figura A.1.c do Anexo A).

Em 2013, ambos os regulamentos térmicos passaram por revisão com base na Diretiva n.º 2010/31/EU, tal como pode ser verificado no novo diploma que integra a regulamentação dos edifícios de habitação, comércio e serviços (Decreto-Lei n.º 118/2013) e em respectivas portarias (Port. n.º 349/2013). Estes documentos preconizam que o parque edificado português deve ser progressivamente composto por edifícios com necessidades quase nulas de energia (edifícios com elevado desempenho energético: baixas ou zero emissão de dióxido de carbono e consumo de energia) com base na aplicação de uma metodologia de custo ótima, onde os edifícios são avaliados e sujeitos a requisitos de qualidade térmica da envoltória, expressos em termos de coeficiente de transmissão térmica e de fator solar dos vãos envidraçados. No caso dos edifícios residenciais, o valor estabelecido de U de referência para envoltória opaca vertical passou a ser entre 0,30-0,5 e para vãos envidraçados entre 2,2-2,90, podendo ser observado na Tabela 1 da Figura A.1.c. os valores correspondentes para a zona climática V1, a qual abrange a cidade de Lisboa.

Ao mesmo tempo em que se verifica ao longo do tempo um aumento das exigências regulamentares quanto à qualidade das edificações em Portugal (elementos opacos e transparentes), também se verifica um crescente interesse e aplicação do material vidro no parque edificado português devido aos avanços em sua produção e sistema de fabrico.

Este crescente uso do vidro na arquitetura e na construção pode ser observado através dos edifícios do parque edificado de Lisboa, sendo este emprego mais correntemente em edifícios de serviços (ver Figura 1.a). Com relação aos edifícios residenciais, estes costumam apresentar de modo geral vãos envidraçados mais contidos e controlados; sendo, entretanto possível também notar um crescente aumento das áreas de envidraçados neste setor, principalmente nos construídos ao longo das últimas décadas (Figura 1.b.1),

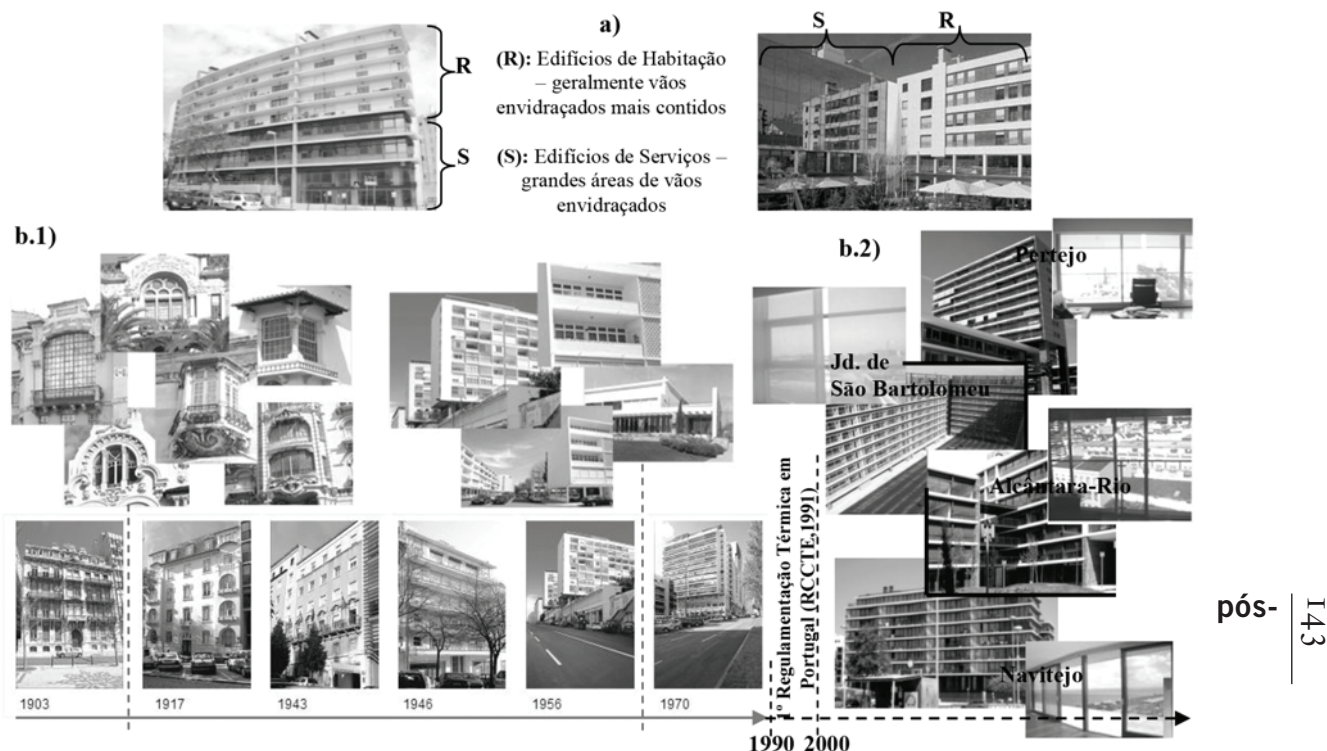


Figura 1: a) Exemplo de edifícios mistos (serviços e habitação) em Lisboa. b) Exemplo evolução dos edifícios de habitação e áreas de envidraçados (Lisboa, Portugal): b.1) Edifícios Prémio Valmor (SILVA *et al.*, 2004); b.2). Edifícios com grandes envidraçados construídos nas últimas décadas (vista exterior e interior dos edifícios adotados como objeto de estudo).  
Fonte: TAVARES, 2012.

onde se verifica fachadas praticamente envidraçadas a semelhança dos edifícios de serviços (ver Figura 1.b.2).

Neste contexto, deve-se ter presente que as trocas de calor entre o meio exterior e o interior de uma construção dão-se diferentemente consoante os tipos de materiais (opacos, não-opacos) e proporções em que estão aplicados. Entretanto, estas trocas decorrem geralmente a partir dos elementos transparentes (devido à parcela da radiação diretamente transmitida para o interior), os quais correspondem ao elemento da envolvente do edifício que apresenta um maior grau de flexibilidade e de adaptação às variações climáticas; de forma a proporcionar um maior controle da radiação, ventilação e da iluminação natural. Ou seja, este corresponde ao elemento mais dinâmico, flexível e interessante da envolvente do edifício (permite ajustes e adaptações para a obtenção das condições interiores desejadas); sendo essencial para a aplicação com sucesso da maior parte dos sistemas de aquecimento solar passivo (quando sob uma orientação solar correta) ao considerar o clima da cidade de Lisboa.

Desta forma, grandes áreas de envidraçados em edifícios de habitação são soluções/opções arquitetônicas que permitem uma leitura estética exterior mais homogênea, a contemplação da paisagem, maior transparência e luminosidade; mas que, entretanto, terão influência direta sobre as condições interiores de temperatura, podendo proporcionar um desempenho térmico e energético satisfatório ou não, dependendo de como são concebidos. Quanto maior forem

as dimensões de um determinado vão envidraçado de uma unidade habitacional, maior será o potencial para esta ganhar ou perder calor (coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados maior do que os da envolvente opaca).

Entretanto, o comportamento térmico de um edifício depende ainda de fatores como dos sistemas de controle e proteção solar junto aos envidraçados, da inércia térmica, do nível de isolamento térmico do edifício, e das taxas de renovação de ar. De forma que, para uma avaliação das condições interiores em edifícios com grandes áreas de envidraçados, faz-se necessário desenvolver uma avaliação de diferentes casos de estudo de forma a relacionar tais variáveis, as quais constituem os diferentes elementos de um Sistema Solar Passivo.

### 1.1. Objetivo

A principal questão que se coloca neste estudo é *se será de fato possível obter e, quais as soluções, que apresentam condições interiores dentro de determinados limites de temperatura do ar interior que conduzam simultaneamente a menores dispêndios de energia*, sobretudo em edifícios residenciais com grandes áreas envidraçadas, sob um clima tipicamente Mediterrânico como o da cidade de Lisboa (adotada para aplicação da metodologia proposta).

Também faz parte do objetivo deste estudo:

- Verificar, a partir da influência de diferentes parâmetros, o comportamento térmico e energético, principalmente de soluções com grandes áreas de envidraçados;
- Observar um conjunto de soluções construtivas representativas de um universo alargado de soluções presentes no parque edificado, tendo a envolvente transparente como elemento principal. Verificando assim possíveis limites e constrangimentos que possam existir dentro de um mapeamento de situações, sempre respeitando a liberdade projetual do arquiteto.

Desta forma, preocupado com a qualidade das construções e com as condições interiores de conforto, o estudo pretende auxiliar o profissional arquiteto nas tomadas de decisões ainda numa fase inicial de projeto, contribuindo para que os edifícios sejam concebidos de forma a maximizar o seu desempenho, e a minimizar os consumos.

### 1.2. Metodologia

Para este estudo foram selecionados alguns edifícios da cidade de Lisboa, os quais apresentam determinadas características relevantes e intrinsecamente relacionadas com a construção e a arquitetura praticada nos últimos anos. Estes apresentam grandes superfícies envidraçadas e foram construídos após a entrada em vigor da primeira regulamentação térmica dos edifícios em Portugal, o Decreto-Lei nº 40/90 (PORTUGAL, 1990).

O processo metodológico presente neste estudo contou com a realização de medições *in loco* ao longo de diferentes campanhas no verão (julho-agosto de 2007 e 2008) e no inverno (dezembro-janeiro de 2007-2008 e 2008-2009) em diferentes unidades dos edifícios objeto de estudo, permitindo a observação do comportamento de casos concretos sob condições reais.

Além da avaliação experimental, foi levada a cabo um conjunto de simulações (recorrendo ao programa de simulação térmica *EnergyPlus*, *E+*), com a construção de modelos detalhados (referentes às unidades monitoradas), e o desenvolvimento de modelos simplificados capazes de representar algumas tipologias frequentemente observadas no setor residencial.

Com base nos Modelos Simplificados constituiu-se uma Matriz de soluções, onde a área de envidraçado é o principal parâmetro a ser observado e sendo condicionante dos demais.

A partir de um mapeamento de diferentes soluções (Matriz de soluções) foram definidos os parâmetros relacionados com os elementos que constituem um Sistema Solar Passivo e comumente presentes na construção em Portugal, bem como as condições limite de verão e de inverno; as quais possibilitaram a observação e a comparação do desempenho entre um espectro alargado de soluções correntes nas principais estações e em termos anuais.

Assim, a partir deste processo (componente experimental e numérico) foi possível obter um conjunto de resultados referentes às condições interiores das diferentes soluções da Matriz mediante determinados limites estabelecidos no estudo, de modo a evidenciar a possibilidade de se projetar e construir edifícios residenciais com diferentes áreas de envidraçados, principalmente de grandes proporções, em clima temperado como o da Lisboa em Portugal.

Desta forma, o estudo estende-se de situações identificadas no parque edificado, considerando a arquitetura e a construção recente em edifícios residenciais, a uma diversidade de soluções de interesse a prática projetual.

Nas seções subsequentes são descritas as diferentes fases anteriormente elencadas; bem como apresentado principais resultados obtidos: Objeto de Estudo e a Amostra (Seção 2); Medições *in loco* de Verão e Inverno (Seção 3); Calibração de Modelos Geométricos, Matriz de Soluções Construtivas com Parâmetros Envolvidos e Resultados (Seção 4).

### 1.3. O Clima

Lisboa é uma das capitais mais amenas da Europa, com um clima semelhante aos dos países mediterrâneos (segundo a classificação climática de Köppen), clima este localizado principalmente nas regiões entre as latitudes 30° e 40° (para norte ou para sul). Como pode ser observado na Figura A.1 do Anexo A, próprio de um clima temperado. Lisboa apresenta as estações do ano bem definidas: o Verão é em geral quente e seco com temperaturas entre 16°C a 37°C (média das máximas de 28°C em Agosto) e umidade relativa média próxima dos 60%; enquanto o Inverno é tipicamente chuvoso e fresco com temperaturas entre 2°C e 17°C (média das mínimas 8°C em Janeiro) e umidade relativa média próxima dos 80%. A média anual de precipitação é de 774 mm, mas entre Junho e Setembro é inferior a 50 mm. Os rumos de vento dominante são de norte e noroeste.

Sendo importante ainda salientar a representatividade do clima da cidade de Lisboa no contexto europeu, tendo sido esta adotada como cidade representativa de uma das cinco zonas climáticas de referência para a Europa no projeto “*Keep Cool*” (GRIGNON-MASSÉ *et al.*, 2009), o qual assumiu a radiação solar e os graus-dia (de aquecimento e resfriamento) como os principais

parâmetros a caracterizarem a severidade do Verão e do Inverno (considerados dados para mais de 30 cidades europeias), Figura A.1b do Anexo A.

## 2. OBJETO DE ESTUDO E A AMOSTRA

Ao considerar o objetivo principal, alguns edifícios residenciais do parque edificado de Lisboa foram selecionados e tomados como objeto de estudo, sendo estes os edifícios Navitejo, Pertejo, Alcântara-Rio e Jardins de São Bartolomeu (Figura 1.b.2 e Figuras do Anexo B). Para tal teve-se em conta a evolução dos edifícios de habitação em Portugal apoiado em estudos bibliográficos e de campo, os quais incidiram, sobretudo, naqueles construídos nas últimas décadas e que apresentam relação com a temática em questão.

Tratam-se de edifícios com projeto desenvolvido por arquitetos reconhecidos em Portugal, e que de modo geral possuem áreas de envidraçado em mais de 60% da envolvente exterior.

Estes foram construídos após a implementação da primeira Regulamentação Térmica dos Edifícios em Portugal (1990), a qual já procurava promover alguns cuidados relativamente às soluções construtivas a serem adotadas na envolvente exterior com a introdução de isolamento térmico e vidros duplos. Assim, os edifícios objeto de estudo apresentam valores de coeficiente de transmissão térmica (U) da envolvente exterior, para: paredes entre 0,35 e 0,68, cobertura entre 0,47 e 0,63, e envidraçados entre 2,8 e 3,2 (maior parte duplos incolores).

### 2.1. A amostra

Considerando os edifícios objeto de estudo, um conjunto de unidades habitacionais foram selecionadas a fim de serem monitoradas (22 unidades, tipologias de 1 a 4 dormitórios).

Sempre que possível procurou-se selecionar dentro de cada edifício unidades habitacionais de mesma tipologia e de plantas semelhantes sob as principais orientações solares. Entre as unidades selecionadas, foram observados um total de 46 ambientes (24 do tipo sala e 22 do tipo quarto) de maior permanência com padrões de ocupação e utilização distintos. Verifica-se entre estes: fatores de forma de 0.1 a 0.85, áreas de pavimentos de  $\approx 15\text{m}^2$  -  $60\text{m}^2$ ; pé-direito de 2,60m-2,65m; e área de envidraçado entre 15% a 95% da área de pavimento correspondente.

Sendo ainda de realçar que mais de 80% dos compartimentos apresentam uma área de envidraçado superior a *60% da face exposta correspondente, e em alguns casos esta relação é próxima dos 90%* (vista interior edifícios, Figura 1.b.2). Situação esta revelada através de questionários como preferência por mais de 80% dos usuários destas unidades (seção 3.3).

Em termos de sombreamento, somente 11% não apresentam *brises* horizontais, enquanto 57% não apresentam dispositivo exterior de sombreamento/controle junto ao envidraçado. Com relação aos equipamentos de climatização, 78% da amostra apresentam algum tipo de sistema de aquecimento e 13% apresenta sistema de resfriamento do tipo ar-condicionado.



### 3. MONITORAMENTO DE DADOS *IN LOCO*

A partir da amostra selecionada, um conjunto de medições *in loco* foram realizadas nas estações de resfriamento (Julho-Agosto)<sup>1</sup> e aquecimento (Dezembro-Janeiro)<sup>2</sup>, de dois anos consecutivos (duas campanhas de verão e duas de inverno, entre 2007-2009).

Durante as medições foram instalados sensores<sup>3</sup> de temperatura e de umidade, geralmente nos ambientes quarto e sala das unidades da amostra. O padrão de uso e ocupação das unidades habitacionais também foi registrado, bem como o ponto de vista dos moradores através de um questionário direcionado as questões de conforto térmico.

Ao longo das campanhas as condições externas foram obtidas a partir da Estação Meteorológica do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, IP (LNEG) instalada no Edifício Solar XXI, em Lisboa.

A Estação Meteorológica e respectivos registros climáticos para os períodos de interesse foram adotados considerando estudos de variabilidade climática para a cidade de Lisboa desenvolvidos por Alcoforado e presentes na publicação “*ACLURE*” (GONCALVES *et al.*, 2004), onde se evidencia que a ilha de calor ocorre fundamentalmente durante o período noturno e predominantemente na estação de inverno; situação em que se verifica uma diferença de temperatura entre as localidades dos edifícios e a Estação Meteorológica de aproximadamente  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Para a maior parte das unidades as medições *in loco* decorreram em períodos de aproximadamente 15 dias. Tendo-se a atenção em não realizar em períodos inferiores a sete dias consecutivos com base nos estudos de Saraiva *et al.* (2005), onde se verifica que os principais fenômenos físicos que influenciam nas condições climáticas de um determinado local ocorrem dentro de um período de aproximadamente seis dias.

Para a verificação e análise das medições, adotou-se como temperatura de conforto entre  $20^{\circ}\text{C}$  e  $25^{\circ}\text{C}$  conforme o Decreto-Lei n.º 80/2006 (PORTUGAL, 2006, p. 2474, artigo 14º), o qual estabelece que “*as condições ambientes de conforto de referência são uma temperatura do ar de  $20^{\circ}\text{C}$  para a estação de aquecimento e uma temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  e 50% de humidade relativa para a estação de arrefecimento*”; de forma a associar temperatura do ar à temperatura de conforto.

Assim, a partir do processo de medição pode-se verificar o desempenho das unidades da amostra (comparando as condições interiores com as exteriores nos correspondentes períodos de medições), bem como obter um conjunto de dados e informações importantes para a compreensão do comportamento térmico de unidades com grandes áreas de envidraçados.

#### 3.1. Monitoramento de verão

A seguir e na Figura 2a, são apresentados de forma sintetizada os principais resultados obtidos durante as campanhas de verão. De modo geral nas diferentes unidades, as temperaturas interiores foram superiores a  $25^{\circ}\text{C}$  em mais de 70% do tempo (80% para os a leste e oeste, e 90% para os a sul); estando assim sob as condições de conforto estabelecidas neste estudo (entre  $20^{\circ}\text{C}$  e  $25^{\circ}\text{C}$ ) em menos de 10%-30% do tempo. Sendo ainda de realçar que para uma significativa parte dos ambientes a temperatura esteve acima dos

<sup>1</sup> Em conformidade com Decreto-Lei 80/2006 (PORTUGAL, 2006).

<sup>2</sup> Em conformidade com Decreto-Lei 80/2006 (PORTUGAL, 2006).

<sup>3</sup> Mini *data-loggers Testostor-175*, fabricante TESTO (precisão  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ).



27°C em 40%-75% do tempo, atingindo por vezes temperaturas superiores a 29°C (com registros até 30% do tempo).

Entretanto, foram os compartimentos com envidraçados orientados praticamente a norte a apresentaram temperaturas entre 20°C e 27°C na maior parte do tempo (em  $\approx$  80%-95%).

A amplitude térmica interior, para a maior parte dos compartimentos, foi de  $\approx$  5°C; sendo que em alguns casos esta esteve próxima dos 8°-12°C (compartimentos com janelas abertas constantemente). Os compartimentos que apresentaram os valores mais baixos de amplitude térmica (em média 3,5°C) dispõem para além de um pequeno *brise* horizontal fixo, de dispositivos de proteções solares exteriores do tipo persianas que permitem maior flexibilidade, controle e adaptação às condições exteriores.

Nesta análise, ainda deve-se ter em consideração que as habitações monitoradas não possuem sistema de ar-condicionado. Portanto, o modo como a ventilação natural foi promovida foi determinante nos resultados obtidos; assim como a forma como os dispositivos de proteção reguláveis quando existentes foram utilizados.

Sendo de considerar que em boa parte das unidades monitoradas, principalmente aquelas sem dispositivo de proteção exterior, os utentes, os usuários, não exploraram totalmente a possibilidade de resfriamento a partir da ventilação natural; e as que possuem nem sempre o exploraram inteiramente quanto ao controle perante a variabilidade climática exterior.

### 3.2. Monitoramento de inverno

A seguir são apresentados os principais resultados obtidos durante as campanhas de monitoramento decorridas nas estações de aquecimento (ver Figura 2b).

Na primeira campanha (Inverno 1), foram as habitações com envidraçados orientados praticamente a sul (Sul/SSE/SSO) a apresentarem temperaturas de conforto entre 20°C e 25°C durante mais tempo, em média 85% do tempo; em seguida foram as a norte e leste (70%-60% do tempo) e por fim as unidades a oeste em somente 25% do tempo. Praticamente nos percentuais restantes as temperaturas apresentaram-se inferiores a 20°C, tendo-se ainda observado alguns registros de temperaturas inferiores a 18°C.

Devendo-se ainda realçar a ocorrência de temperaturas interiores superiores a 25°C em até 30% do tempo, mesmo nesta estação fria, tendo sido esta situação de sobreaquecimento verificada em compartimentos com envidraçado de grandes proporções orientados a sul sem o emprego de sistemas de aquecimento.

Já na segunda campanha praticamente todos os compartimentos apresentaram temperaturas inferiores a 18 °C em boa parte do tempo. Dos compartimentos a leste e oeste ainda verificou-se temperaturas inferiores a 15 °C em 20-30% do tempo, com registros abaixo de 12°C.

Devendo-se levar em conta nesta análise que estes resultados estão estreitamente relacionados com o uso de sistemas de aquecimento por parte

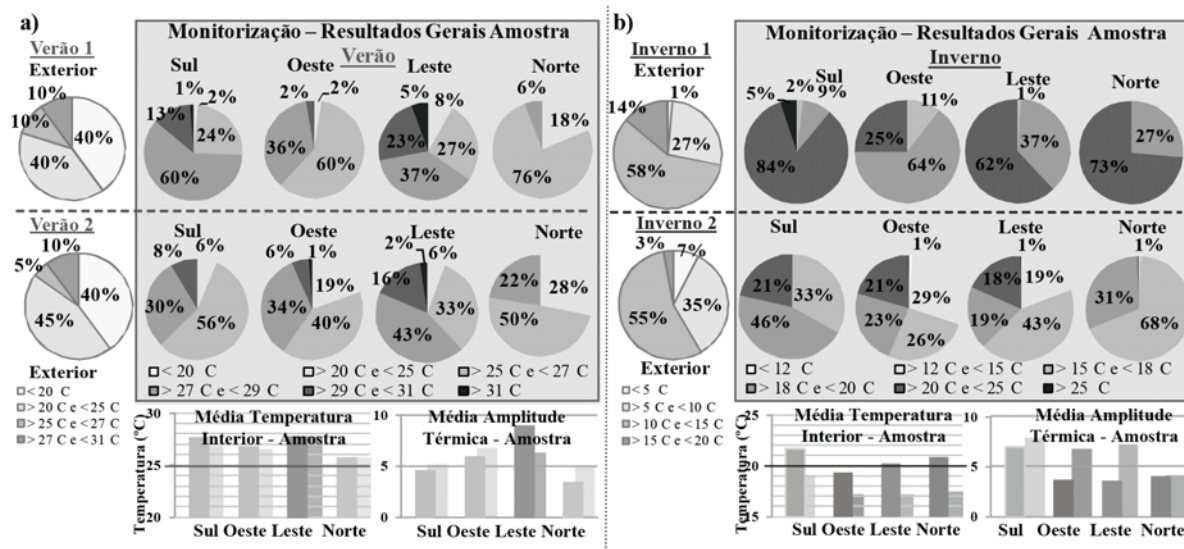


Figura 2: Resultados gerais das medições *in loco* (amostra): a) verão (campanhas de 2007 e 2008); b) inverno (campanhas de 2007-2008 e 2008-2009).  
Fonte: TAVARES, 2012.

dos usuários, bem como pela utilização dos dispositivos de proteção (podendo evitar maiores perdas de calor no período noturno).

Somente 20% da amostra não precisou recorrer a algum tipo de sistema de aquecimento (unidades habitacionais a sul). Desta forma, as condições de temperatura obtidas para grande parcela das unidades poderiam ainda ter sido inferiores as registradas, implicando no agravamento das condições interiores de conforto.

Os usuários ainda declararam terem mantido as janelas fechadas na maior parte do tempo; e nas unidades que dispõem de dispositivo de proteção, estes os mantiveram (regra geral) recolhidos durante o dia e fechados durante a noite.

### 3.3. Opinião e avaliação dos usuários

A partir dos questionários realizados junto aos usuários das unidades habitacionais da amostra, foi possível verificar que estes revelaram um alto grau de satisfação em relação às características gerais das mesmas (aspecto geral, privacidade e dimensões janelas: classificados entre ótimo e bom por mais de 90% dos entrevistados), bem como preferências por vãos de grandes proporções. No entanto, em termos da temperatura interior nas unidades durante o verão, nenhum dos inqueridos classificou seu apartamento como ótimo, e em 2/3 dos casos estas foram classificadas com condições péssimas e ruins. Quanto à ventilação natural, mais da metade foi classificada como pouco ventilada nesta estação.

Durante o inverno, relativamente à temperatura nas unidades habitacionais, apenas 26% dos inqueridos classificaram seus apartamentos como ótimo, sendo que em somente 20% das unidades os usuários nunca recorreram a qualquer tipo de sistema de aquecimento.

Desta forma, verifica-se um real interesse e preferência por edifícios residenciais com grandes áreas de envidraçados por parte de seus usuários, da mesma forma que são identificadas potenciais situações de desconforto causadas pelas grandes proporções dos mesmos em ambas as estações de resfriamento e aquecimento.

## 4. ESTUDOS ANALÍTICOS

### 4.1. Calibração e validação de modelos

Com base nas informações obtidas a partir das unidades habitacionais monitoradas, modelos geométricos detalhados foram construídos no programa de simulação térmica *EnergyPlus*, *E+*.

Nos modelos detalhados levou-se em consideração as características das unidades habitacionais e as condições sob as quais estas foram monitoradas durante o verão e inverno.

Para garantir que os modelos em questão fossem simulados sob as condições em que foram monitorados, teve-se especial cuidado ao se introduzir no programa *E+* os dados climáticos correspondentes aos períodos de medições (arquivo climático) obtidos a partir da estação meteorológica do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG, Lisboa).

A diferença entre as temperaturas obtidas durante as medições *in loco* e as obtidas por simulações (tendo-se observado sete dias consecutivos nas estações de verão e inverno) não excedeu  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  para a maioria das unidades habitacionais. Sendo de considerar esta a margem de erro dos equipamentos utilizados nas medições, dada pelo fabricante.

Após a verificação dos Modelos Detalhados, estudos de simplificação dos mesmos foram realizados agrupando as diferentes unidades habitacionais selecionadas a partir de suas características tipológicas, resultando assim em dois modelos simplificados no programa *E+*; o Modelo Simplificado 1 (com uma face exposta, uma zona térmica) e o Modelo Simplificado 2 (com duas faces opostas expostas, duas zonas térmicas); verificados em duas etapas:

1º) Os Modelos Simplificados foram submetidos a simulações sob as mesmas condições em que os Modelos Detalhados correspondentes foram simulados; 2º) Tanto os modelos Detalhados com os Simplificados foram submetidos às mesmas variações paramétricas (verão e inverno); a fim de verificar a capacidade dos modelos simplificados responderem às variações impostas de forma análoga aos modelos detalhados correspondentes.

O processo de calibração demonstrou que os modelos simplificados 1 e 2 apresentaram resultados semelhantes aos modelos detalhados (etapa 1ª), bem como mediante as variações paramétricas realizadas nas estações quente e fria (etapa 2ª), sendo que a diferença média entre os resultados dos modelos correspondentes, não excedeu  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  nos diversos ensaios.

Desta forma, pôde-se obter dois modelos geométricos simplificados de base, verificados, calibrados, e capazes de representar algumas tipologias frequentemente observadas no setor residencial (mantendo as principais

características de diferentes unidades presentes em edifícios existentes, Figura 3a); tendo sido estes adotados nos estudos subsequentes, como os relacionados com a definição de uma Matriz de soluções. O processo que culminou na preparação destes dois modelos geométricos simplificados foi previamente discutido e demonstrado por Tavares (*et al.* 2011; 2012). Ambos também capazes de representar unidades com uma relação entre as dimensões X e Y (em metros), como demonstrado na Figura 3a.

## 4.2. Matriz de soluções e parâmetros envolvidos

Após a obtenção dos Modelos 1 e 2 desenvolveu-se uma Matriz de soluções construtivas capaz de permitir averiguar a influência de determinados parâmetros não só sobre as condições interiores de temperatura, mas também sobre as questões energéticas.

Sobre os Modelos 1 e 2 desenvolveram-se estudos de variações paramétricas para o Clima Lisboa (diferentes combinações entre os parâmetros adotados). A seguir e nas seções 4.2.1 e 4.2.2 encontram-se descritos os principais parâmetros presentes na Matriz.

O Modelo1, o qual apresenta uma face exposta foi submetido ao longo das simulações às orientações sul, oeste, leste e norte. O Modelo2 (2 zonas) com duas faces opostas em exposição às condições exteriores foi submetido ao longo das simulações às orientações sul+norte e oeste+leste. Ambos os modelos 1 e 2 foram considerados na situação de andar intermédio e em andar de cobertura (com a laje de cobertura em contato com o exterior).

### 4.2.1. Parâmetros relacionados com a envolvente não-opaca (envidraçados)

Especificamente em edifícios onde a área envidraçada é superior às superfícies opacas (com reduções significativas nas áreas de armazenamento, amortecimento e retenção), a influência dos elementos opacos nas condições interiores será menor à medida que a sua área na envolvente exterior vai sendo reduzida; e, portanto, poderão ser outras características construtivas a ganharem importância e auxiliar a proporcionar melhores condições interiores.

Na Matriz proposta, para os Modelos 1 e 2, foram adotadas áreas de envidraçados que correspondem a 20%, 40%, 60% e 80% das fachadas a que estão inseridas sob as principais orientações solares, Figura 3a. A altura dos envidraçados foi fixada em 2,20m (correspondendo a altura média dos envidraçados verificada nas unidades da amostra); desta forma variando somente a largura dos mesmos para obter as diferentes áreas descritas, sendo que o centro do(s) envidraçado(s) sempre coincide com o ponto central das fachadas.

Também foram adotados dois tipos de vidros em ambos os Modelos: vidro duplo incolor (V1)<sup>4</sup> por ser comumente utilizado na construção após a implementação da 1ª Regulamentação Térmica em Portugal; vidro duplo de baixa emissividade (V2)<sup>5</sup>, por apresentar características que permitem limitar fortemente o sobreaquecimento no verão (deixando passar a luz reduzindo a entrada de calor), enquanto no inverno permite uma boa iluminação natural com isolamento térmico reforçado.

<sup>4</sup> V1=Planilux+Planilux (U=2,9) e V2=Planistar+Planilux (U=1,8), fabricante Saint Gobain Glass-SGG, Portugal.

<sup>5</sup> V1=Planilux+Planilux (U=2,9) e V2=Planistar+Planilux (U=1,8), fabricante Saint Gobain Glass-SGG, Portugal.

	Sem Dispositivo	Dispositivo Interior		Dispositivo Exterior			Ventilação Natural
		Verão	Inverno	Verão	Inverno		
Situação I		<b>Aberto:</b> 10h-20h (Dia) 50% <b>Fechado:</b> 20h-10h (Noite) 100%		<b>Aberto:</b> 10h-23h (Dia) 70% <b>Fechado:</b> 23h-10h (Noite) 100%		Combinar com	I
Situação II		<b>Fechado:</b> 10h-20h (Dia) 100% <b>Aberto:</b> 20h-10h (Noite) 50%	Sempre Aberto: 10h-20h (Dia) 50%	<b>Fechado:</b> - 24h-10h (Noite) 100% - 10h-20h (Dia) 70% <b>Aberto:</b> 20h-24h (Noite) 70%	Sempre Aberto: 10h-20h (Dia) 70%	Combinar com	II
Situação III		<b>Fechado:</b> 10h-20h (Dia) 100% <b>Aberto:</b> 20h-10h (Noite) 50% (+ 20mm isolamento no dispositivo interior)		<b>Fechado:</b> - 24h-20h (Noite/Dia) 70% <b>Aberto:</b> 20h-24h (Noite) 70%		Combinar com	III

Tabela 1: Descrição das situações dos dispositivos de sombreamento adotados na Matriz, nos binômios verão-inverno, dia-noite (correlacionados com as diferentes taxas de ventilação).  
Fonte: TAVARES, 2012.

Com relação aos tipos de *brises-soleils*, quando presentes nos modelos 1 e 2, foram considerados como do tipo horizontal e infinito em conformidade com as situações presenciadas nos edifícios existentes com grandes áreas de envidraçados (ex. edifícios da amostra), Figura 3b. De forma a estes apresentarem na Matriz uma variação somente da sua largura (larguras adotadas de 0,0m; 0,60m; 1,20m e 1,90m), sendo que um *brise* horizontal de largura de 1,90m corresponde a um sombreamento total do(s) vão(s) envidraçado(s) no período do verão, tendo em consideração que a altura destes foi fixada sempre em 2.20m.

Na Matriz, foram estabelecidas três situações de dispositivos de sombreamento interior do tipo Portadas Interiores (folhas de madeira de correr, com possibilidade de cobrir 50%-100% do envidraçado), e três situações de dispositivos de proteção exterior do tipo Persiana/Estore Exterior (sistemas de recolher verticalmente podendo cobrir de 0%-100% do envidraçado).

Soluções desprovidas de dispositivos de controle (interior ou exterior) também foram contempladas na Matriz, podendo estas somente estarem sombreadas (ou não) por *brises* horizontais de dimensões já descritas. Na Tabela 1, as diferentes situações de dispositivos de sombreamento correlacionadas com as situações de ventilação adotadas na Matriz.

Para este estudo adotou-se uma taxa de renovação de ar para quando as janelas fechadas de Rph 0,80 h<sup>-1</sup> e de Rph 3,0 h<sup>-1</sup> quando as janelas abertas. Entretanto ao longo da estação de aquecimento, todas as soluções apresentam uma taxa de Rph 0,80 h<sup>-1</sup> (ver Figura 3c)<sup>6</sup>.

As adoções efetuadas (Matriz) com relação aos tipos de sombreamento e taxas de ventilação são decorrentes da arquitetura presenciada nos edifícios tomados como objeto de estudo, bem como na observação e registro do comportamento dos usuários durante as medições.

Desta forma, a Matriz permite comparar soluções com diferentes áreas de envidraçados, partindo de modelos desprovidos de qualquer proteção solar a modelos com diferentes tipos de *brises* e dispositivos de sombreamento, assim como partindo de modelos pouco ventilados ao longo do ano a modelos com diferentes taxas e promoção da ventilação na estação quente.

<sup>6</sup> 0,6Rph considerado o mínimo regulamentar segundo Decreto-Lei n.º 80/2006 (PORTUGAL, 2006). Em Afonso *et al.* (1986) também são apontados valores de Rph em edifícios de habitação: 3Rph corresponde a promoção da ventilação natural na situação de janela aberta.

#### 4.2.2. Parâmetros relacionados com a envolvente opaca (massa e isolamento térmico)

Para a definição dos diferentes tipos de soluções construtivas adotadas na Matriz, foram consideradas as soluções observadas nos edifícios da amostra, bem como as apresentadas na publicação ITE 50 (SANTOS; MATIAS, 2006), onde estão caracterizadas as soluções mais frequentes na construção em Portugal. Desta forma, foram definidos três conjuntos de Massa Térmica

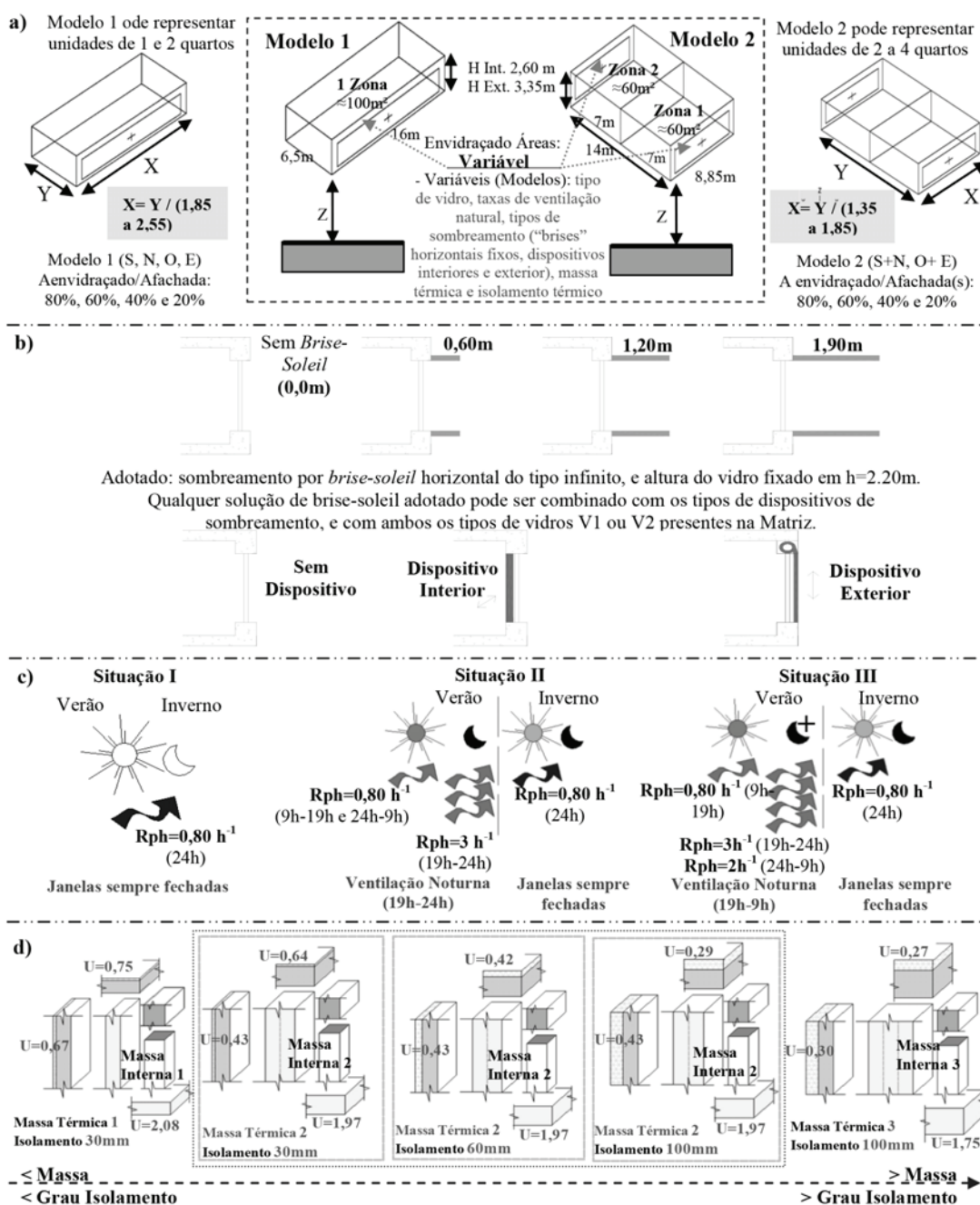


Figura 3: Esquema Parâmetros adotados na Matriz de Soluções: a) Modelos Geométricos Simplificados; b) Parâmetros relacionados com a Envolvente Não-Opaca; c) Taxas de Ventilação Natural d) Parâmetros Envolvente Opaca. Fonte: TAVARES, 2012.



Exterior<sup>7</sup> (paredes exteriores, lajes de cobertura e lajes de pavimentos interiores), e três conjuntos de Massa Térmica Interior<sup>8</sup> (Pilares, Vigas e Paredes Internas).

Os conjuntos de massa térmica exterior e interior foram combinados, de forma a comporem e culminarem em três conjuntos de Massa Térmicos adotados na Matriz (de menor massa ao de maior massa), ver Figura 3d. O conjunto Massa Térmica II corresponde à situação mais próxima do comumente presente no parque edificado construído após 1991 em Portugal.

Para representar os diferentes tipos de isolamentos térmicos comuns na construção portuguesa, adotou-se o poliestireno expandido (XPS) ao se ter em conta que os materiais isolantes apresentam valores muito próximos de condutibilidade térmica. Este foi adotado na Matriz sob diferentes espessuras, 30mm, 60mm e 100mm, e associado às diferentes Massas Térmicas: Massa Térmica I associada a 30mm de isolamento; Massa Térmica II associada a 30 mm/60 mm/100mm de isolamento; e Massa Térmica III associada a 100mm de isolamento.

Desta forma, sendo obtido e adotado cinco conjuntos de soluções de envolvente opaca resultante da combinação entre os tipos de massa térmica e graus de isolamento descritos e contemplados na Matriz, os quais podem ser verificados na Figura 3d com os respectivos valores de coeficiente de transmissão térmica (U).

#### 4.2.3. Simulação – soluções Matriz

Para a simulação térmica e energética de cada solução presente na Matriz recorreu-se ao programa de simulação dinâmica *EnergyPlus* (*E+*), sendo as condições de conforto e de consumo para o ano inteiro consideradas e contabilizadas. Para tal adotou-se o arquivo climático em (.epw) para Lisboa disponível na página do programa *E+*, correspondente a base de dados climáticos obtidos através da interpolação de dados publicados pelo Instituto de Meteorologia entre os anos de 1951-1980.

As simulações decorreram de duas formas para as diferentes soluções da Matriz:

A-) Regime flutuante (sem a existência de sistemas de aquecimento e resfriamento): permite obter a temperatura interior (dados horários em °C), sendo importante para a avaliação das soluções em termos das condições interiores de temperatura.

B-) Regime termoestático, com a definição de temperaturas de controle, verão e inverno. Para este estudo foi estabelecido conforme as condições *de conforto de referência* preconizadas no Decreto-Lei n.º 80/2006 (PORTUGAL, 2006), e mencionado na Seção 3.: 25°C como temperatura de resfriamento e 20°C como temperatura de aquecimento (a temperatura interior flutua somente entre as temperaturas de controle estabelecidas, 20°C e 25°C). Assim, a quantidade de energia necessária (dados horários em kWh) para manter a temperatura interior superior a 20°C corresponde às necessidades de aquecimento e a energia necessária para manter a temperatura interior inferior a 25°C corresponde às necessidades de resfriamento.

<sup>7</sup> A Massa Externa II é a mais representativa das soluções da Publicação ITE 50 (SANTOS; MATIAS, 2006).

<sup>8</sup> O conjunto Massa Interna I apresenta metade da massa das paredes interiores do conjunto II, e o terceiro conjunto apresenta mais 50% sobre a massa das paredes interiores do conjunto II.



Através da comparação entre valores de resultados foi possível verificar o desempenho das diversas soluções contempladas na Matriz nas principais estações e em termos anuais.

#### 4.2.4. Condições limite de verão e de inverno

Com a finalidade de apoiar a interpretação dos resultados foram estabelecidas para este estudo algumas condições limite conforme apresentado nos estudos de Tavares (2012); correspondendo estas as condições interiores de temperatura que conduzam a maiores dispêndios de energia na estação de resfriamento e de aquecimento. Tendo-se assim adotado como limite de referência de resfriamento uma média da temperatura máxima de 30°C (podendo ser representado em termos de necessidades de resfriamento por 30 kWh/m<sup>2</sup>)<sup>9</sup>; e como limite de referência de aquecimento uma média da temperatura mínima de 13°C (podendo ser representado em termos de necessidades de aquecimento por 50 kWh/m<sup>2</sup>)<sup>10</sup>.

Portanto, as soluções que apresentaram valores de temperatura acima do limite de resfriamento (30°C), e/ou abaixo do limite de aquecimento (13°C), foram denominadas neste estudo como soluções em situação crítica, com tendência a maiores dispêndios de energia.

<sup>9</sup> O presente estudo não se trata de uma aplicação do Decreto-Lei n.º 80/2006; entretanto adota para os modelos tipológicos em causa, um valor limite de necessidades de resfriamento (30 kWh/m<sup>2</sup>) e de aquecimento (50 kWh/m<sup>2</sup>) próximos ao contemplado neste documento.

<sup>10</sup> O presente estudo não se trata de uma aplicação do Decreto-Lei n.º 80/2006; entretanto adota para os modelos tipológicos em causa, um valor limite de necessidades de resfriamento (30 kWh/m<sup>2</sup>) e de aquecimento (50 kWh/m<sup>2</sup>) próximos ao contemplado neste documento.

### 4.3 Resultados

A seguir será apresentado o conjunto de resultados referentes às condições interiores das diferentes soluções da Matriz, de forma a permitir perceber se estas encontram-se dentro ou não das condições limite estabelecidas para o estudo (item 4.2.4).

#### 4.3.1 Resultados Modelo 1 e 2 – andar intermédio

Tendo presente os objetivos estabelecidos, verifica-se que é possível obter condições interiores de temperatura que não conduzam a maiores dispêndios de energia (dentro dos limites estabelecidos para este estudo, seção 4.2.4), para unidades habitacionais correspondentes ao Modelo 1 e 2 localizadas em andar intermédio com diferentes áreas de envidraçados e orientações presentes na Matriz, desde fachadas com 20% a 80% de envidraçado. Sendo assim apresentado um leque de opções, ver Figura 4a.

Praticamente todas as soluções da Matriz correspondentes ao Modelo 1 e 2 em andar intermédio, quando com dispositivo de proteção interior ou exterior, apresentaram condições interiores dentro dos limites estabelecidos, de forma a não demonstrarem tendência a maiores dispêndios de energia em ambas as estações (aquecimento e resfriamento).

Entretanto, soluções do Modelo 1 com área de envidraçado superior a 60% da fachada, assim como do Modelo 2 com área de envidraçado correspondendo a 80% em pelo menos uma das fachadas; maior atenção deve ser dada as questões de resfriamento (verão), principalmente para as que apresentam brises inferiores a 0.60 m sem qualquer dispositivo de sombreamento.

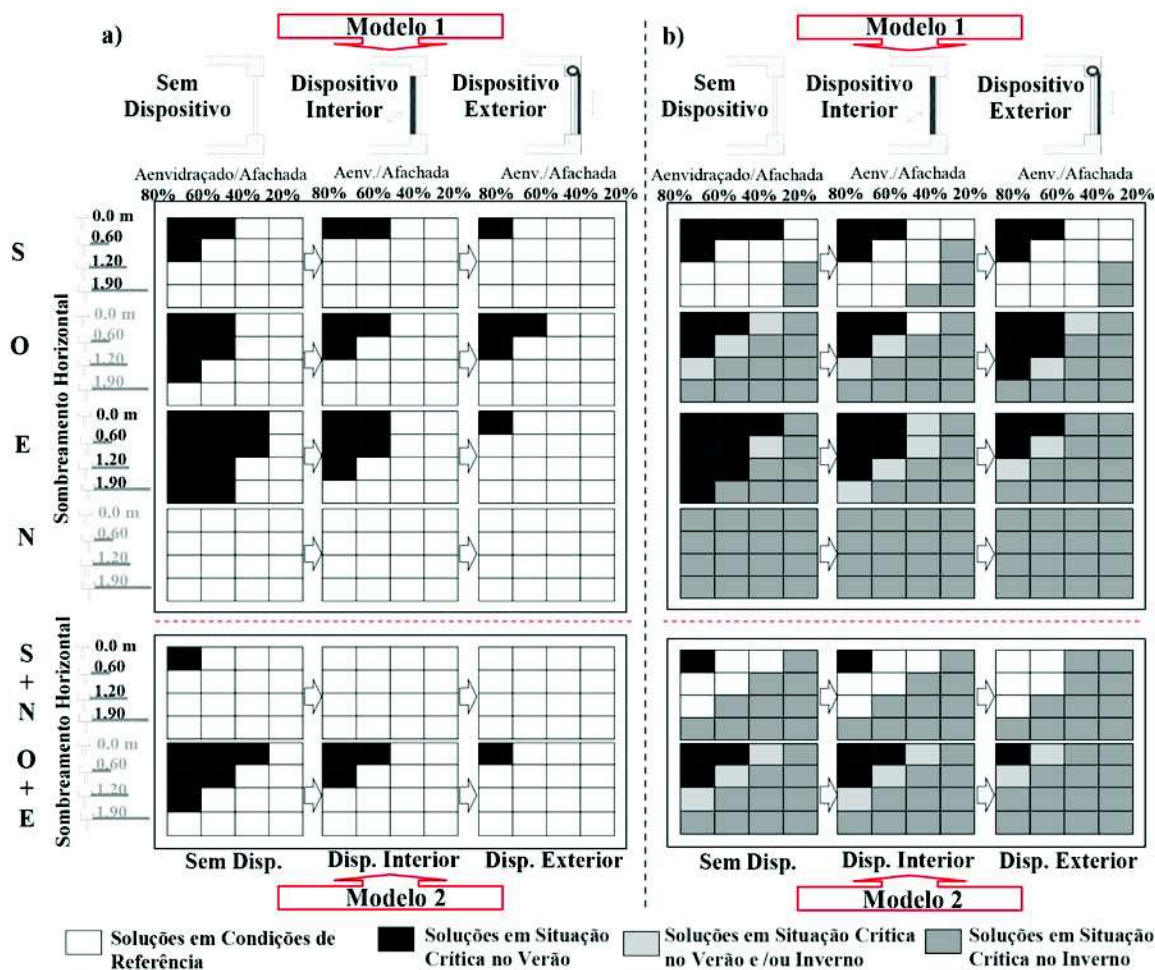


Figura 4: Esquema resultados para o Modelo 1 e 2 em: a) andar intermediário; b) andar cobertura (massa térmica I e II com 30mm de isolamento térmico).  
Fonte: TAVARES, 2012.

#### 4.3.2. Resultados Modelo 1 e 2 – andar cobertura (isolamento de 30mm)

Para a maior parte das soluções da Matriz correspondente ao Modelo 1 e 2 em andar de cobertura, quando com massa térmica I ou II associadas a um grau de isolamento de 30mm (Figura 4b), verifica-se que dependendo da área de envidraçado, orientação, tipo de vidro, presença ou não de *brise-soleils* de diferentes dimensões e diferentes taxas de ventilação; pode-se passar de uma situação crítica em termos de inverno para uma situação crítica no verão e vice-versa. Assim, existe um leque restrito de soluções com condições interiores de temperatura que não conduzem a maiores dispêndios de energia em ambas as estações.

O recurso a dispositivos de proteção solar permite reduzir significativamente as necessidades de energia para resfriamento, porém, quando se analisa em termos da estação de aquecimento este poderá conduzir a um aumento das necessidades de energia de aquecimento.

Verifica-se que maiores cuidados devem ser tomados com:

- As soluções (principalmente do Modelo 1) com área de envidraçado que corresponda a mais de 60% da área da fachada quando com *brises* de

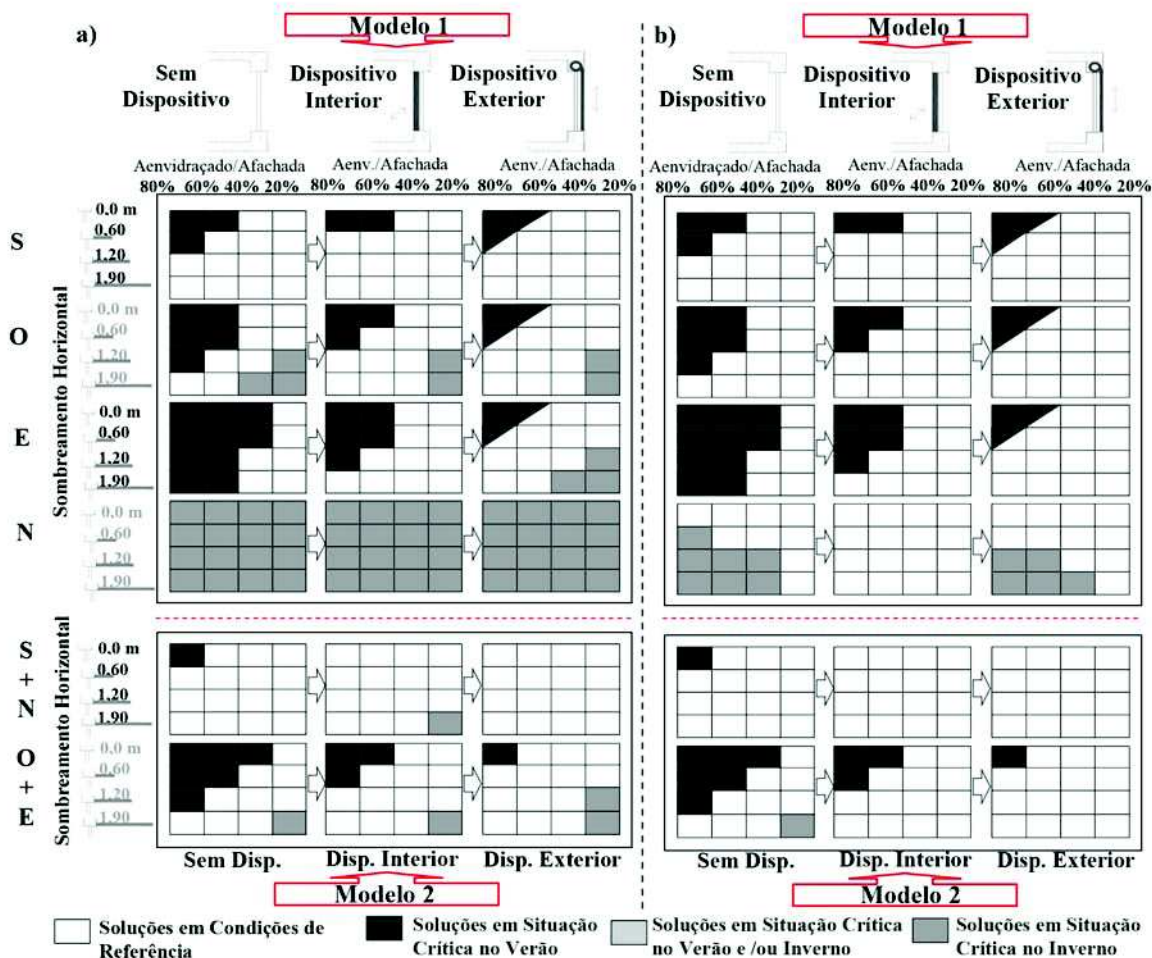


Figura 5: Esquema resultados para o Modelo1 e 2, Andar Cobertura: a) massa térmica II com 60mm de isolamento térmico; b) massa térmica II e III com 100mm de isolamento térmico.  
Fonte: TAVARES, 2012

dimensões inferiores a 0,60m, pois estes tendem a apresentarem maior dispêndio de energia na estação de resfriamento;

- Soluções do Modelo 1 orientadas a norte, independentemente da área de envidraçado e tipo de proteção solar, tendem a apresentar maior dispêndio de energia na estação de aquecimento.

Entretanto, a maior parte das soluções que apresentaram condições interiores dentro dos limites de referência, correspondem principalmente ao Modelo 1 sob a orientação sul, e ao Modelo 2 sob a orientação sul+norte.

#### 4.3.3. Resultados Modelos 1 e 2 – andar cobertura (isolamento de 60mm e 100mm)

Para as soluções da Matriz correspondente ao Modelo1 e 2 em andar cobertura, quando com massa térmica II ou III associadas a um grau de isolamento de 60mm (Figura 5a) e de 100mm (Figura 5b), verifica-se um leque de opções com soluções as quais tendem a não apresentar maior dispêndio de energia e condições críticas de temperatura interior. Estas condições foram identificadas para soluções sem qualquer elemento de

proteção solar, mas principalmente para aquelas com dispositivo de sombreamento junto aos envidraçados.

As soluções com área de envidraçado superior a 60% da fachada, maior atenção deve ser dada às questões de resfriamento (verão), principalmente para aquelas que apresentam *brise-soleils* de dimensões inferiores a 0,60m e sem qualquer dispositivo de proteção solar (interior ou exterior); com exceção das soluções Modelo1 orientadas a norte. Entretanto, soluções com área de envidraçado inferior a 40% da fachada e *brises* superiores a 1,20m de largura (principalmente as orientadas a norte), deve-se ter particular atenção na estação de aquecimento (inverno).

## 5. DISCUSSÃO

No caso dos modelos adotados (Modelo 1 e 2 em andar intermédio e cobertura, ou seja, com ou sem cobertura exposta) verifica-se que os resultados obtidos estão diretamente associados à *relação* existente entre:

- A área da envolvente exterior (opaca e transparente) e o volume interno, também denominado como fator de forma (quociente  $A_e/V$ ). Para o modelo 1 (com menor fator de forma do que o modelo 2) observou-se um maior leque de soluções dentro das condições limite; assim como para ambos os modelos em andar intermédio comparativamente quando em andar cobertura (maior fator de forma). Ou seja, a forma exterior de um edifício é um fator com uma grande influência nas suas perdas térmicas, pois quanto mais compacta for a forma de um edifício e/ou unidade (com reduzida superfície exterior e menor área em exposição ao ambiente externo), tanto mais reduzidas são as perdas de calor e melhor será o seu balanço térmico global;
- A área de envolvente transparente e a envolvente opaca:
  - a) Quanto maior a área de envidraçado relativamente envolvente opaca, maior tendência a situações críticas na estação de resfriamento; desta forma havendo uma maior influência do sombreamento dos vãos (Verão) associado a ventilação natural (horários em que a temperatura externa for inferior a interior) para a obtenção de melhores resultados de desempenho nesta estação quente;
  - b) Quanto menor a área de envidraçado, maior tendência a situações críticas na estação de aquecimento, devido a uma menor área de captação solar no Inverno, por forma ao grau de isolamento térmico e a introdução de dispositivos junto aos envidraçados assumirem importante papel na retenção de calor e consequente obtenção de melhores resultados de desempenho nesta estação.

## 6. CONCLUSÕES

O estudo em questão apresenta uma metodologia composta por etapas que permitiram através de exemplos concretos a obtenção de resultados para um espectro alargado de soluções considerando o clima de Lisboa.

Com relação às medições *in loco*, a verificação do desempenho térmico de edifícios com grandes áreas de envidraçados, quando submetidos a condições climáticas exteriores (inverno e verão), permitiu avaliar as condições de temperatura interior sob o comportamento dos ocupantes, condicionados pelas soluções construtivas e opções arquitetónicas; por forma a ter-se constatado possíveis situações de desconforto em unidades com significativa área de envidraçado em ambas as estações do ano. De modo geral, durante as duas campanhas de verão as unidades apresentaram temperaturas superiores a 25°C em 90% do tempo, enquanto na estação de aquecimento (maior parte recorreu a sistemas de aquecimento ambiente) registraram-se valores de temperatura inferior a 20°C, em mais de 50% do tempo.

Quanto aos resultados referentes aos estudos analíticos (Matriz de soluções desenvolvida com a base na metodologia proposta), pode-se verificar que “*É possível obter condições interiores de temperatura que não conduzam a maiores dispêndios de energia*” (dentro dos limites estabelecidos para este estudo), para unidades habitacionais correspondentes ao Modelo 1 e 2 localizadas tanto em andar intermédio como em andar cobertura; com diferentes áreas de envidraçados (fachadas com 20% de envidraçado a 80% de envidraçado) e orientações presentes na Matriz; tendo sido apresentado um conjunto vasto de opções e soluções com possibilidade de adoção na prática projetual.

No entanto, soluções com área de envidraçado superior a 60% da fachada, maior atenção deve ser dada às questões resfriamento (verão), principalmente para aquelas que apresentam *brise-soleils* horizontais de dimensões inferiores a 0.60m de largura e sem qualquer dispositivo de proteção solar. Bem como, soluções com área de envidraçado inferior a 40% da fachada (em cobertura) com *brises* horizontais superiores a 1,20m de largura (principalmente as orientadas a norte), deve-se ter particular atenção na estação de aquecimento (inverno).

Desta forma, o estudo permite com que o projetista possa de modo direto observar e comparar soluções construtivas (representativas de unidades habitacionais) para um clima tipicamente mediterrânico a exemplo da cidade de Lisboa, verificando quais as soluções que proporcionam maior conforto e menores necessidades de energia para condicionamento ambiente em função da área de envidraçado. Assim possibilitando obter um conjunto de indicações numa fase inicial de projeto, na medida em que demonstra as implicações deste sobre as condições interiores em unidades habitacionais, principalmente naquelas onde a área correspondente aos envidraçados tem valores superiores à área da envolvente opaca vertical.



# ANEXOS

## Anexo A: Dados Climáticos de Lisboa

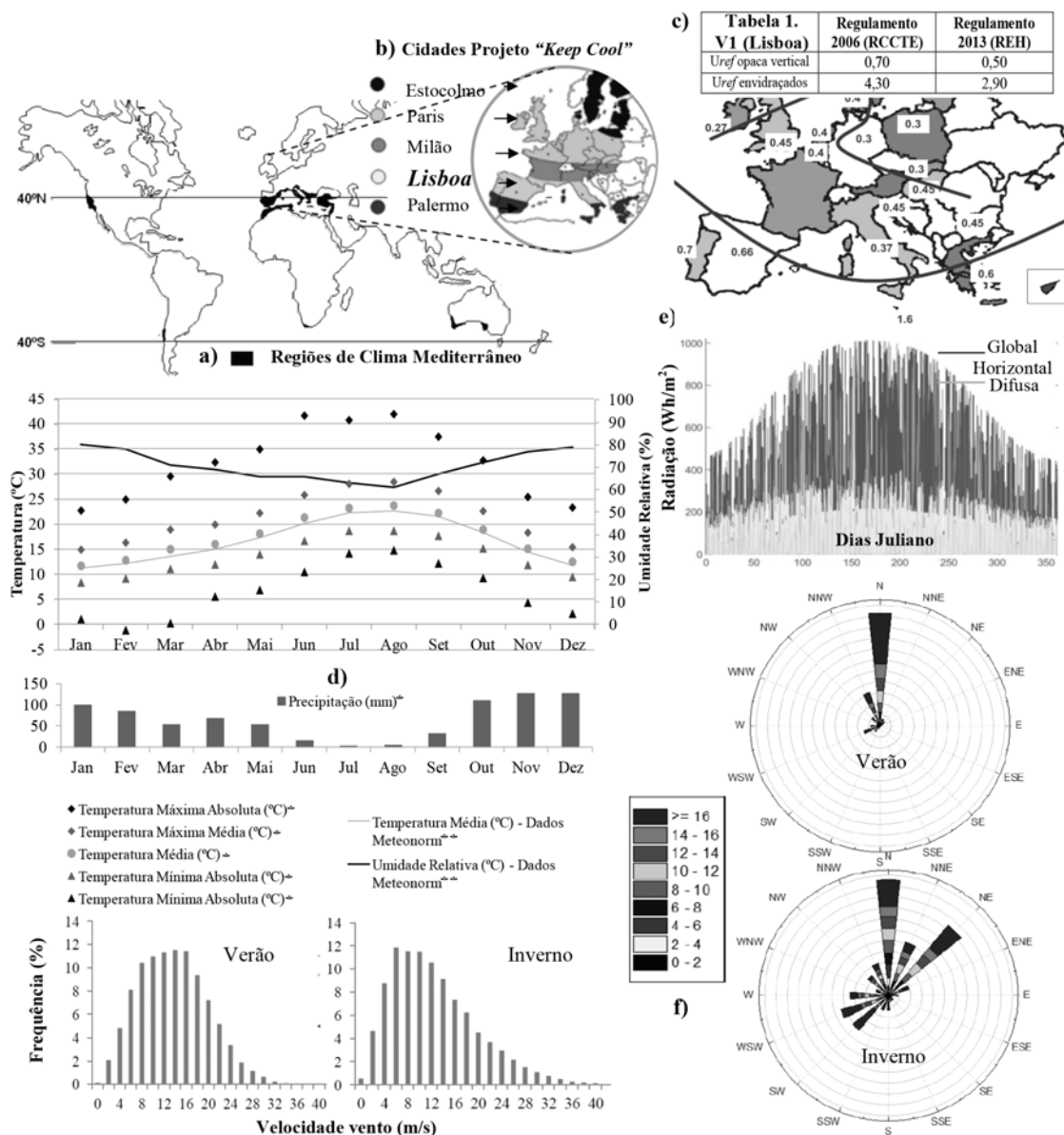


Figura A.1: Dados Climáticos de Lisboa: a) regiões de clima mediterrâneo. Fonte: (GEOGRAFIA 8, 2011); b) zonas climáticas e cidades representativas do projeto "Keep Cool". Fonte: (GRIGNON-MASSÉ *et al.*, 2009); c) Mapa com valores indicativos dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos opacos verticais em contato com o exterior (U W/ m<sup>2</sup>.°C) após a Diretiva n.º 2002/91/CE. Fonte: (MALDONADO, 2008); d) dados de temperatura do ar (em °C) e de precipitação (em mm). Fonte: \*Normais Climatológicas Instituto Português do mar e da Atmosfera – IPMA (1981-2010) e \*\* Programa de dados Climáticos Meteorolm; e) radiação global e difusa no plano horizontal para um ano meteorológico tipo no intervalo de amostragem horária de um ano comum. Fonte: (COSTA, 2011); f) rosa-dos-ventos e distribuição da frequência sazonal da velocidade do vento na estação de Verão e Inverno. Fonte: (TEIXEIRA, 2013).

Anexo B: Edifícios “Objeto de Estudo” - Planta Tipo e Períodos de Insolação (Fachadas)

Figura B.1: Edifícios Pertejo, Parque das Nações - Lisboa (Planta Tipo e Períodos de Insolação).  
Fonte: TAVARES, 2012.

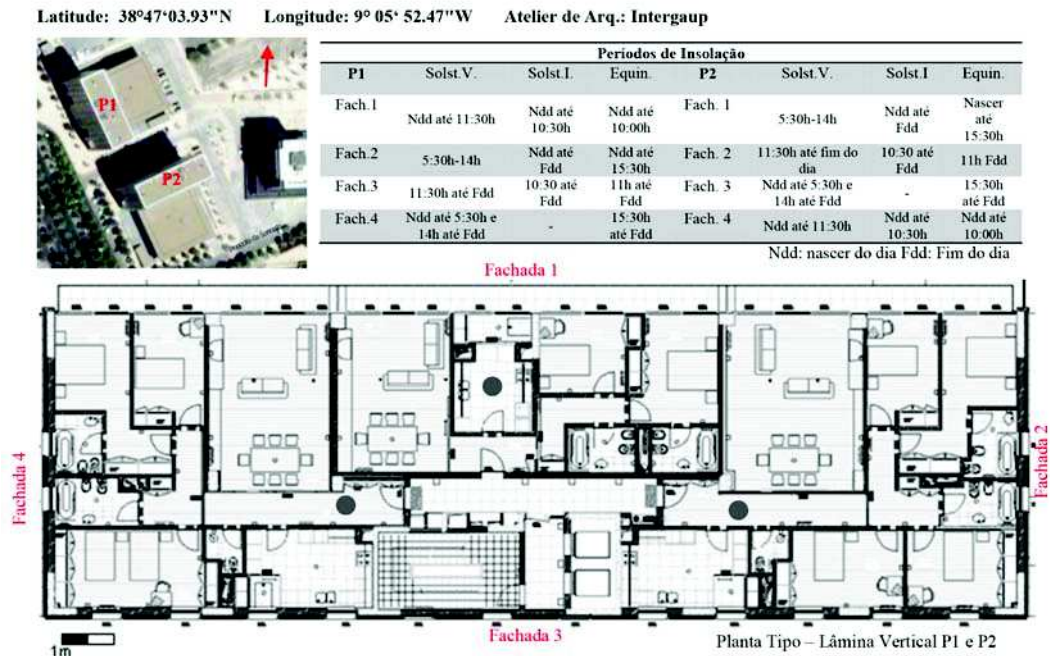


Figura B.2: Conjunto de Edifícios Jardins de São Bartolomeu, Alta de Lisboa - Lisboa (Planta Tipo e Períodos de Insolação).  
Fonte: TAVARES, 2012.

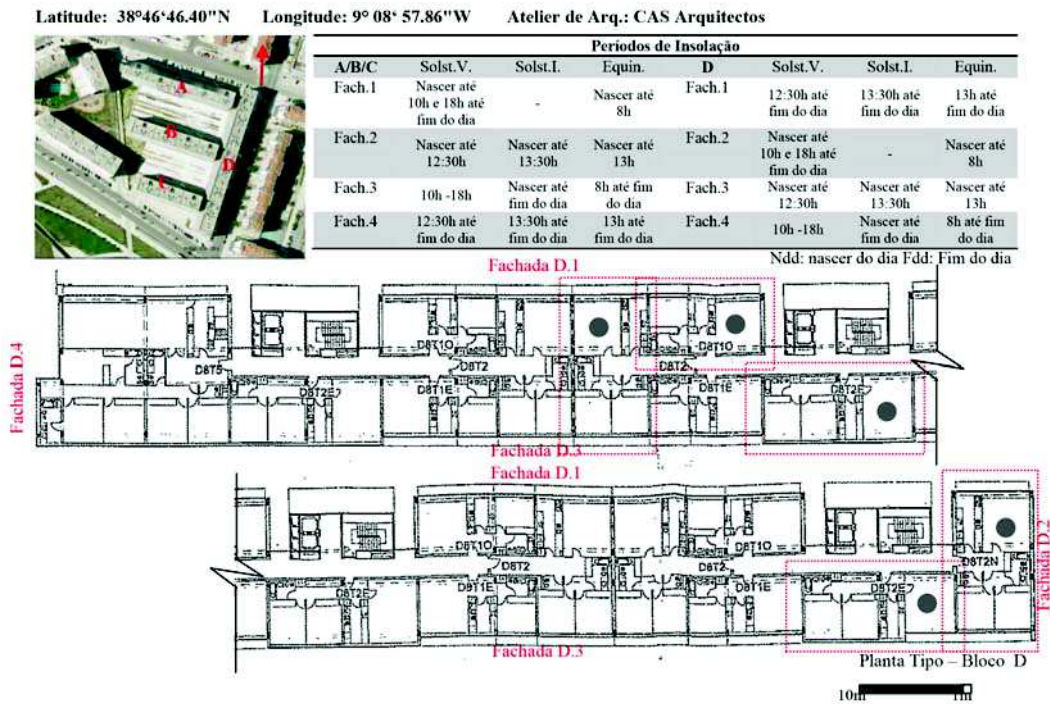




Figura B.3: Edifícios Alcântara-Rio, Alcântara - Lisboa (Planta Tipo e Períodos Insolação).  
Fonte: TAVARES, 2012.

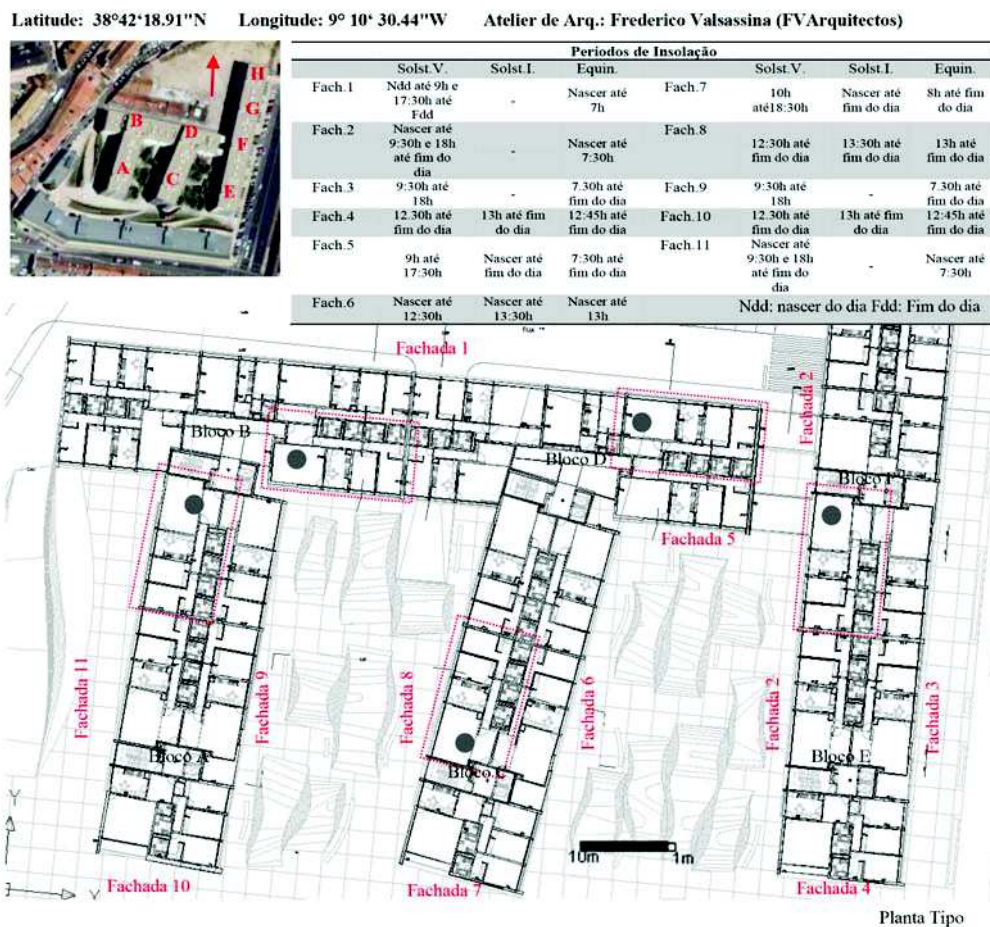
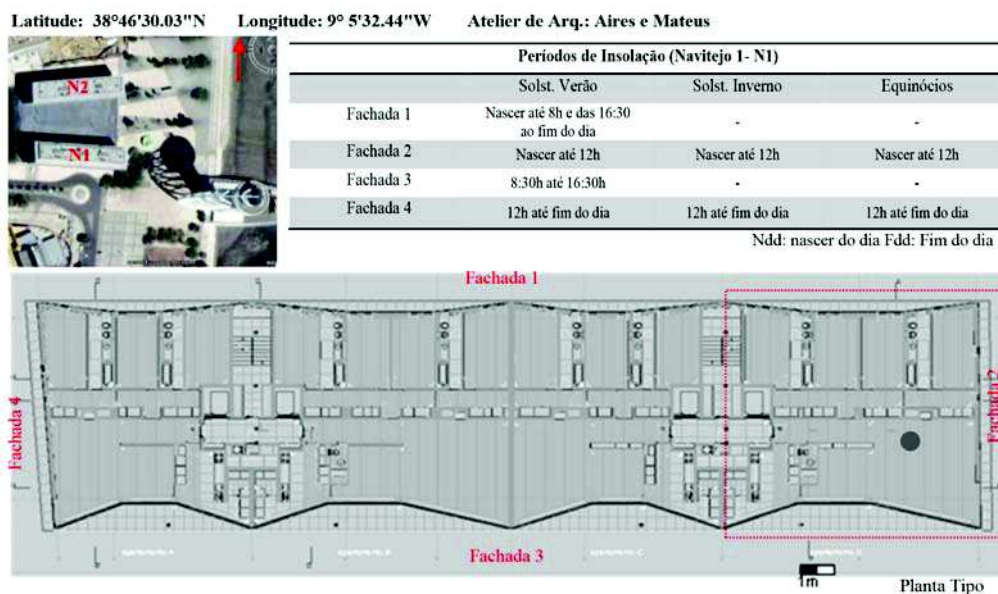


Figura B.4: Edifício Navitejo, Parque das Nações - Lisboa (Planta Tipo e Períodos Insolação).  
Fonte: TAVARES, 2012.



## REFERÊNCIAS

- AFONSO, C.; MALDONADO, E.; SKARET, E. A Single Tracer-Gas Procedure to Characterize Multi-Room Air Exchanges. *Revista Energy and Buildings*, v.9, n.4, p.273-280, 1986.
- COSTA; R. *Comparação de Métodos de Seguimento Solar para Sistemas Fotovoltaicos*. 2011. Dissertação (Mestrado Integrado) - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: <[http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/8701/1/ulfc104175\\_tm\\_Ricardo\\_Costa.pdf](http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/8701/1/ulfc104175_tm_Ricardo_Costa.pdf)>.
- GEOGRAFIA 8. O clima temperado mediterrâneo. Net, Portugal, 2011. Disponível em: <<http://geografia8.blogspot.pt/2011/11/o-clima-temperado-mediterraneo.html>> e CLIMA Mediterrâneo. Net. Disponível: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Clima\\_mediterr%C3%A2nico](https://pt.wikipedia.org/wiki/Clima_mediterr%C3%A2nico)>.
- GONÇALVES, H.; PANÃO, M.; CAMELO, S.; RAMALHO, A.; GRAÇA, J.; AGUIAR, R. *Ambiente Construído, Clima Urbano, Utilização Racional de Energia nos Edifícios da Cidade de Lisboa – ACLURE*. Lisboa: INETI, 2004. 58p.
- GRIGNON-MASSÉ, L.; et al. Work Package 4: Assessment of Energy Savings Related to Sustainable Summer Comfort - Deliverable 1 Base Case Analysis. (Keep Cool II). **Net**. 2009. European Commission - Intelligent Energy Europe. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/keep-cool-ii#results>>.
- MALDONADO, E. The European Directive on the Energy Performance of Buildings (EPBD). *Net*. 2008. 8ªs Jornadas de Climatização. Disponível em: <[http://www.ordemengenhadores.pt/fotos/dossier\\_artigo/2008\\_10\\_15\\_8jc\\_eduardomaldonado1838232594df890e3894a6.pdf](http://www.ordemengenhadores.pt/fotos/dossier_artigo/2008_10_15_8jc_eduardomaldonado1838232594df890e3894a6.pdf)>.
- PORTUGAL. Decreto-Lei nº 80/06 de 4 de Abril de 2006. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE. *Diário da República* – I Série-A, n.º67, p.2468-2513, 2006.
- PORTUGAL. Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de Fevereiro de 1990. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE. *Diário da República* – I, Série, n.º31, p.490-504, 1990.
- PORTUGAL. Direção Geral de Energia e Geologia, DGEG. Caracterização Energética Nacional, 2012. Disponível em: <<http://www.dgge.pt>> e em <<http://www.adene.pt/indicadores>>.
- PORTUGAL. Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto de 2013. Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE), Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). *Diário da República* – 1.ª série – n.º 159, p. 4988-5005. Disponível em: <<https://dre.pt/application/dir/pdf1s/2013/08/15900/0498805005.pdf>>
- PORTUGAL. Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de Novembro de 2013. Requisitos de Conceção para Edifícios ao abrigo do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação – REH. *Diário da República* – 1.ª série – N.º 232, p. 6624- (18) a 6624- (29). Disponível em: <<https://www.academiaadene.pt/download/pt/portaria-n-349-b2013-requisitos.pdf>>
- PORTUGAL. Portaria n.º 349-D/2013, de 02 de Dezembro de 2013. Requisitos de Conceção para Edifícios ao abrigo do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços – RECS. *Diário da República* – 1.ª série – N.º 233, p. 6628-(40) a 6628-(73). Disponível em: <<https://www.academiaadene.pt/download/pt/portaria-n-349-d2013-recs.pdf>>
- SANTOS, C.; MATIAS, L. *Coeficiente de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios – ITE 50*, Lisboa: LNEC, 2006. 161p.
- SARAIVA, J.; DA SILVA, F.; DA SILVA, F. Condições Climáticas e Anos Típicos. In: VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e IV Encontro Latino-Americano Sobre Conforto no Ambiente Construído ENCAC – ENLAC, 2005, Maceió. *Anais ENCAC-ENLAC*, Maceió, 2005.
- SILVA, A.; TORRES, C.; BARROS, M.; ARRIAGA, T.; REIS, T. *Lisboa - Prémio Valmor*. Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa Pelouro de Licenciamento Urbanístico e Reabilitação Urbana, 2004.
- SOUSA, J.; SILVA, S.; ALMEIDA, M. Enquadramento Energético do Sector Residencial Português. *Net*. Guimarães, 2012. Seminário Reabilitação Energética de Edifícios. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/21508/2/SREE-JS-SMS-MA2.pdf>>.
- TAVARES, M. *Sistemas Solares Passivos na Arquitectura em Portugal*: Os Envidraçados nos Edifícios Residenciais em Lisboa. 2012. 340p. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitectura da Universidade de Lisboa – FA-UL, Lisboa, 2012. Disponível em: <<http://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/6080>>.

TAVARES, M.; GONÇALVES, H.; BASTOS, J. Thermal Performance of Residential Buildings with Large Glazing areas in Lisbon - Modelling and Validation. In: *27th International Conference on Passive and Low Energy Architecture* - PLEA, 2011, Louvain-La-Neuve. *Anais eletrônicos PLEA*, Louvain-La-Neuve 2011. Disponível em: <<https://www.academiaadene.pt/download/pt/portaria-n-349-d2013-recs.pdf>>.

TEIXEIRA, A. *Caracterização do potencial eólico urbano: O caso de Lisboa*. Dissertação (Mestrado) - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – ISEL, Lisboa, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/3389/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>>.

UNIÃO EUROPEIA. Diretiva n.º 2010/31/EU de 19 de Maio de 2010. Desempenho Energético dos Edifícios (reformulação). *Jornal Oficial da União Europeia* L153/13-35. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:PT:PDF>>

### Nota do Autor

Este artigo é resultante da tese de doutorado “*Sistemas Solares Passivos na Arquitectura em Portugal - Os Envidraçados nos Edifícios Residenciais em Lisboa*”, pesquisa realizada por Márcia Cristina Pereira Tavares sob orientação do Prof. Dr. Hélder José Perdigão Gonçalves, pesquisador principal do Laboratório Nacional de Energia e Geologia-LNEG, Portugal e com coorientação do Prof. Dr. Jorge Novais Telles Faria Corrêa Bastos, professor catedrático da Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa.

### Agradecimentos

À Fundação FCT de Portugal (Agência de Fomento a Pesquisa, com atribuição de Bolsa de Doutoramento), ao Laboratório LNEG (ex-INETI) de Portugal, como Instituição de Acolhimento. Ao doutor Hélder Gonçalves, Investigador Principal e diretor do LNEG, ao professor catedrático Jorge Bastos, diretor na Faculdade de Arquitetura, FA-UTL de Portugal, ao engenheiro. Jorge Saraiva, investigador coordenador do LNEG de Portugal.

### Nota do Editor

Data de submissão: 18/03/2016

Aprovação: 12/11/2016

Revisão: Izolina Rosa de Jesus

---

### Márcia Cristina Pereira Tavares

Universidade Técnica de Lisboa. Faculdade de Arquitectura. Lisboa, Portugal.

CV: <http://lattes.cnpq.br/0251334236029422>

[marciatave@gmail.com](mailto:marciatave@gmail.com)

### Hélder José Perdigão Gonçalves

Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Lisboa, Portugal.

[helder.goncalves@lneg.pt](mailto:helder.goncalves@lneg.pt)

### Jorge Novais Telles de Faria Corrêa Bastos

Universidade Técnica de Lisboa. Faculdade de Arquitectura. Portugal.

[jnbastos@fa.utl.pt](mailto:jnbastos@fa.utl.pt)